

6. Логачева Е.А., Жданов В.Г. Повышение качества подготовки технических кадров – основная задача в аграрном образовании // Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты. Материалы II Международной научно-практической конференции 2014. – С. 125–130.

УДК 621.313

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА**

**Зеленухо Е.В., Бельская Г.В., Ролевич И.В.**

*Белорусский национальный технический университет*

*В работе определены основные направления повышения эффективности производства биогаза в Республике Беларусь, с учетом логистических особенностей биогазовых комплексов, состава используемых органических субстратов и их предобработки.*

Одним из важнейших приоритетов государственной энергетической политики в Республике Беларусь является обеспечение энергетической безопасности и энергетической независимости за счет повышения энергоэффективности и увеличения использования собственных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Государственной программой «Энергосбережение на 2016-2020 годы» предусматривается обеспечение доли местных ТЭР в валовом потреблении до 16 %, в том числе доля ВИЭ в валовом потреблении ТЭР должна составлять не менее 6 % [1].

В настоящее время одним из перспективных направлений получения возобновляемой энергии является использование биогазовых технологий. Биогаз получают путем водородного и (или) метанового брожения органической массы в анаэробных условиях. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием гидролизных, кислотообразующих и метанобразующих бактерий. В цепочке питания последующие бактерии разлагают в бескислородных условиях продукты жизнедеятельности предыдущих бактерий. Это требует строгого соблюдения особых условий для эффективного сбраживания органических субстратов.

Существенным экологическим преимуществом использования биогазовых технологий является снижение выбросов парниковых газов (углекислого газа и метана). Известно, что парниковый эффект метана в 20 раз выше, чем углекислого газа. Биогазовые технологии позволяют снизить выброс этих парниковых газов от производственных сельскохозяйственных технологий до их естественных (природных) круговоротов. Также к экологическим преимуществам биогазовых технологий относится получение высококачественных органических удобрений (биогумуса), образующегося в качестве конечного продукта анаэробного сбраживания органического материала. Использование биогумуса в качестве органического удобрения позволяет снизить применение минеральных удобрений с целью повышения плодородия почв на культивируемых территориях, что является явным экологическим преимуществом. Кроме того, тепловая энергия, производимая по биогазовым технологиям, может быть использована на внутренние нужды хозяйства – для обогрева производственных помещений, теплиц, использования для хозяйственно-бытовых нужд и т.п.

Однако, несмотря на широкий спектр преимуществ использования биогазовых технологий, необходимы учет и корректировка ряда факторов (как на стадии проектирования, так и в ходе эксплуатации биогазовых комплексов), с целью повышения эффективности выхода биогаза. Основными направлениями могут быть следующие мероприятия:

1. Оптимизация вопросов логистики биогазовых комплексов (строящихся и функционирующих). При эксплуатации биогазовых установок важным фактором является наличие достаточного объема органического сырья с целью обеспечения непрерывного процесса работы установок. Поэтому на первом этапе проектирования необходимо проанализировать возможность бесперебойной круглосуточной подачи органических субстратов в реактор, в течение всего года. Наилучшим вариантом является территориальное размещение биогазовых установок как можно ближе к источникам производимых субстратов.

Необходима четкая оптимизация вопросов логистики биогазовых комплексов. Должна быть обеспечена оптимальная инфраструктура подъездных путей и мест складирования первичного сырья.

2. Важным фактором, оказывающим влияние на выход биогаза, является состав используемого органического субстрата.

При оценке субстрата следует учитывать, что только из сухой массы, и в этом случае, только из ее органической части можно произвести метан. Поэтому содержание органической сухой массы в соотношении с общей массой, является первым и самым важным критерием для выбора составляющих смеси субстратов.

Так, например, на повышение эффективности выхода биогаза оказывает влияние возможность использования не только отходов животноводства (навоза), но и продуктов, имеющих более высокое содержание органических веществ. Это могут быть отходы предприятий пищевой промышленности, в т. ч. мясокомбинатов, зеленая масса с.-х. культур, кукурузный или другие виды силоса, растительные отходы. Основные свойства органических субстратов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные свойства органических субстратов

Субстрат	Сухое вещество (СВ), %	Органическое сухое вещество, %	Выход биогаза, м <sup>3</sup> /т	Объем СН <sub>4</sub> , м <sup>3</sup> /т СВ
Навозная жижа КРС	10	80	25	210
Навоз КРС	25	80	80	250
Свиная навозная жижа	6	80	28	250
Птичий помет	40	75	140	280
Кукурузный силос	33	95	200	340
Солома зерновых	33	95	190	329
Рапсовый жмых	92	87	660	396
Картофельная мезга	13	90	80	336
Жом сахарной свеклы	24	95	68	218
Фруктовые выжимки	35	88	148	453

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что наибольшим потенциалом для выхода биогаза обладают отходы от производства рапсового масла – 660 м<sup>3</sup> на тонну отходов рапсового жмыха, а также силос кукурузы и солома зерновых культур – соответственно 200 м<sup>3</sup> и 190 м<sup>3</sup> на тонну отходов. Вышеуказанные субстраты могут увеличить выход биогаза для условий Республики Беларусь. Учитывая то, что площади возделывания озимого рапса, кукурузы и зерновых культур стабильны и имеют тенденцию к расширению, можно сказать, что вышеуказанные ресурсы могут способствовать повышению производства биогаза в республике.

3. Объективная оценка установленной электрической мощности биогазового комплекса. С учетом потенциала образования и поставки органических отходов с целью эффективного их использования для производства тепловой и электрической энергии необходима объективная оценка установленной электрической мощности биогазового комплекса (планируемого для строительства). Согласно данным Департамента по энергоэффективности государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, в стране функционирует 18 биогазовых установок общей установленной электрической мощностью более 26 МВт. Большинство установок имеют электрическую мощность до 2 МВт, что позволяет более успешно решать задачи их эффективного использования, в частности, обеспечения органическим сырьем, в качестве которого в настоящее время в основном используются отходы животноводства [2].

Реактор должен проектироваться таким образом, чтобы он был способен вместить необходимое количество субстрата, для бесперебойной работы в течение всего года. В зависимости от используемого субстрата реактор может снабжаться следующим оборудованием: мельницами и шредерами для измельчения субстрата, насосами и загрузчиками для подачи субстрата в реактор, емкостями для гигиенизации субстрата, различными видами мешалок для перемешивания, системами удаления перебродившего субстрата и осадка, газгольдерами для хранения полученного биогаза и т.д. Все указанное оборудование должно потреблять минимальное количество электрической энергии, быть износостойким, простым и надежным в обслуживании и эксплуатации. Также реактор должен обладать хорошей теплоизоляцией и антикоррозионным внутренним покрытием, для минимизации тепловых потерь и высокого качества получаемого биогаза.

4. Оценка и предобработка субстратов. Микроорганизмы, участвующие в производстве биогаза, требуют строго определенных условий для своего функционирования; в противном случае процесс производства биогаза может замедлиться или даже полностью остановиться. Некоторые вредные вещества (в первую очередь, аммиак, сероводород), образующиеся на разных стадиях микробиологического разложения, известны как ингибиторы, которые отрицательно влияют на жизнедеятельность микроорганизмов и соответственно снижают выход биогаза.

С целью повышения эффективности работы биогазовых установок необходима предварительная лабораторная оценка

органических субстратов по показателям: содержание сухого вещества; соотношение содержания C: N: P; содержания ингибиторов брожения (в первую очередь, содержание аммония и тяжелых металлов, др. показатели). В связи с этим рекомендуется на каждом функционирующем на территории Республики Беларусь биогазовом комплексе создать лабораторию по оценке качества исходных органических субстратов, вовлекаемых в процесс производства биогаза, и составления оптимальных рецептур их брожения.

Повышению эффективности получения биогаза способствует также соблюдение режимов предобработки органических субстратов, вовлекаемых в процесс производства биогаза, создание устойчивых биоразлагаемых систем (в т. ч. измельчение, создание оптимального водного режима субстратов, эффективный процесс гидролиза в разных видах реакторов и др. технологические приемы).

5. Очистка и доработка биогаза. Неочищенный биогаз, получаемый с помощью анаэробного сбраживания, обычно необходимо подготовить для дальнейшего использования. Помимо  $\text{CH}_4$ , биогаз содержит такие компоненты, как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , летучие органические загрязнители, силоксаны, галогенкарбонаты и водяной пар, которые рассматриваются как загрязняющие вещества. Они должны быть удалены до использования биогаза, либо в процессе производства тепловой энергии, в качестве топлива (биометана). Методы очистки биогаза основаны главным образом на трех механизмах: абсорбции, адсорбции и мембранном разделении. Очищенный биогаз не только помогает снизить выбросы парниковых газов, но и выделяет в атмосферу меньше углеводородов,  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$ , в сравнении с бензиновым и дизельным топливом.

6. Обоснование экономической эффективности. Для обоснования экономической эффективности использования биогазовых технологий необходимо учитывать не только энергетические аспекты, но и экологические и агротехнические факторы. Так, в соответствии с ТКП 17.02-05-2011 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов» расчет простого срока окупаемости биогазового проекта производится по следующей формуле [3]:

$$T_{\Pi} = \frac{k \cdot P_{\text{уст}}}{P_{\text{э}} + P_{\text{шт}} + P_{\text{зв}} + P_{\text{уд}} + P_{\text{ур}} + P_{\text{х}} + P_{\text{о}} - Z_{\text{р}} - Z_{\text{с}} - A_{\text{м}} - H_{\text{с}} - H_{\text{р}}}$$

где  $k$  – удельные капиталовложения в биогазовый комплекс;  
 $P_{уст}$  – установленная мощность биогазового комплекса;  
 $P_э$  – доход от продажи электрической и тепловой энергии;  
 $P_{пг}$  – доход от продажи добровольных сокращений выбросов парниковых газов;  
 $P_{зв}$  – снижение выплат экологического налога в связи с сокращением выбросов загрязняющих веществ;  
 $P_{уд}$  – доход от продажи получаемого дигестата как удобрений;  
 $P_{ур}$  – прибыль от увеличения урожайности;  
 $P_х$  – экономия на сокращении объемов вносимых в почву химических веществ;  
 $P_о$  – экономия на сокращении объемов сбрасываемых стоков, снижении нагрузки на очистные сооружения;  
 $Z_p$  – ежегодные отчисления на обслуживание и ремонт биогазового комплекса;  
 $A_m$  – годовые амортизационные отчисления;  
 $H_c$  и  $H_p$  – налоги, определяемые налоговым законодательством.

На практике, в основном, производится оценка прибыли от продажи электрической энергии. Иногда учитывается возможность использования тепловой. Тепловая энергия, вырабатываемая при сжигании биогаза, часто остается неиспользованной, хотя эффективное использование этой энергии позволяет значительно повысить экономическую эффективность биогазовых установок.

Таким образом, для повышения эффективности производства энергии путем использования биогазовых технологий в Республике Беларусь и получения экологических преимуществ, необходим анализ всей системы функционирования биогазового комплекса – от особенностей применяемых органических субстратов до оптимальной реализации производимой энергии потребителям.

### Библиографический список

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016-2020 гг. Утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2016 г. № 248.
2. Величко В.В., Кундас С.П., Капустин Н.Ф. Повышение эффективности биогазовых технологий // Энергоэффективность. - №7, 2017. – С. 10-16.
3. ТКП 17.02-05-2011 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов».